

Patent / Offenlegung VO 1177, 02/042

①9 BUNDESREPUBLIK  
DEUTSCHLAND



DEUTSCHES  
PATENT- UND  
MARKENAMT

⑫ **Offenlegungsschrift**  
⑩ **DE 198 00 189 A 1**

⑤1 Int. Cl.<sup>6</sup>:  
**H 01 H 59/00**  
H 01 L 49/00

②1 Aktenzeichen: 198 00 189.4  
②2 Anmeldetag: 5. 1. 98  
④3 Offenlegungstag: 22. 7. 99

DE 198 00 189 A 1

⑦1 Anmelder:  
Fraunhofer-Gesellschaft zur Förderung der  
angewandten Forschung e.V., 80636 München, DE

⑦4 Vertreter:  
Schoppe & Zimmermann, 81479 München

⑦2 Erfinder:  
Schiele, Ignaz, Dipl.-Ing., 80637 München, DE;  
Vogel, Stefan, Dipl.-Ing. (FH), 81243 München, DE;  
Kozlowski, Frank, Dr., 82284 Grafrath, DE

⑤6 Entgegenhaltungen:

DE 42 05 029 C1  
DE 1 95 30 736 A1

Three-Terminal Latching Micromechanical Switch.  
In: IBM Technical Disclosure Bulletin, Vol. 30  
No. 6 Nov. 1987, S. 393/394;  
SCHIELE, I., u.a.: Micromechanical Relay with  
Electrostatic Actuation, In: Proceedings  
Transducers 97, Chicago 16-19 Juni 1997,  
S. 1165-1168;  
PAUL, M. u.a.: Micromechanical Switches  
Fabricated  
Using Nickel Surface Micromachining, In: Journal  
of Microelectromechanical Systems, Bd. 6, Nr. 1,  
März 1997, S. 3-9;  
GRETILLAT, M.-A. u.a.: Electrostatic Polysilicon  
Microrelays Integrated with MOSFET, In: Proc.  
IEEE MENS Workshop 94, Oiso JP, 1994,  
S. 94-101;

Die folgenden Angaben sind den vom Anmelder eingereichten Unterlagen entnommen

Prüfungsantrag gem. § 44 PatG ist gestellt

⑤4 Mikromechanischer Schalter und Verfahren zur Herstellung desselben

⑤7 Ein mikromechanischer Schalter weist ein Trägersubstrat, ein auf einer Hauptoberfläche des Trägersubstrats angeordnetes feststehendes Kontaktstück, eine auf der Hauptoberfläche des Trägersubstrats angeordnete Gegenelektrode und eine bewegliche Elektrode mit einem befestigten Ende, das an der Hauptoberfläche des Trägersubstrats befestigt ist, und einem freien Ende auf. Die bewegliche Elektrode ist durch eine elektrostatische Anziehungskraft zwischen der beweglichen Elektrode und der Gegenelektrode bewegbar, um einen elektrischen Kontakt zwischen der beweglichen Elektrode und dem feststehenden Kontaktstück zu bilden und aufzutrennen, wobei die wesentliche Struktur der beweglichen Elektrode aus einem einkristallinen Halbleitermaterial besteht.

DE 198 00 189 A 1

Die vorliegende Erfindung bezieht sich auf mikromechanische Schalter sowie Verfahren zur Herstellung derselben, und insbesondere laterale mikromechanische Schalter, d. h. solche, die eine bewegliche Elektrode aufweisen, die in einer Ebene parallel zu der Oberfläche eines Trägersubstrats beweglich ist.

Zum Schalten von elektrischen Strömen werden in der Technik entweder elektromechanische Schalter oder Halbleiterschalter verwendet. Elektromechanische Schalter zeichnen sich neben einer galvanischen Trennung des Last- und Steuerkreises ferner durch eine fast vollständige Isolation der geöffneten Kontakte sowie einen geringen Kontaktwiderstand aus. Nachteile mikromechanischer Schalter sind der relativ hohe Leistungsverbrauch, das große Bauteilvolumen sowie die langen Schaltzeiten im Millisekundenbereich.

Dagegen weisen Halbleiterschalter geringe Schaltzeiten, eine hohe Prellfreiheit, eine hohe Schockfestigkeit und eine von der Schaltzahl unabhängige Lebensdauer auf. Nachteile der Halbleiterschalter sind das temperaturabhängige Schaltverhalten, die niedrigen Isolationswiderstände und die aufwendigen Schutzmaßnahmen gegen Überlast.

In jüngerer Zeit wird durch die Verwendung mikrotechnischer Fertigungsverfahren in zunehmendem Maße versucht, miniaturisierte Schalter oder Mikrorelais herzustellen. Aufgrund der Ergebnisse des aktuellen Entwicklungsstandes ist zu erkennen, daß derartige Mikroschalter schnelle Schaltzeiten im Mikrosekunden-Bereich, eine hohe Schockfestigkeit, geringe Kontaktwiderstände und hohe Isolationswiderstände aufweisen und ein prellfreies Schalten ermöglichen. Überdies werden diese Eigenschaften bei einem sehr geringen Bauteilvolumen erreicht. Durch die mikrotechnische Fertigung ist darüberhinaus eine preisgünstige Massenproduktion möglich. Es sind mikromechanische Schalter bekannt, die aus einer beweglichen Balkenstruktur bestehen, die als Kontaktträger dient. Bei herkömmlichen mikromechanischen Schaltern bewegt sich diese Balkenstruktur üblicherweise in der z-Achse, d. h. von dem Trägersubstrat weg oder zu dem Trägersubstrat hin. Die Bewegungsrichtung der beweglichen Balkenstruktur liegt also senkrecht zu dem Substrat.

Der Trägerbalken besteht bei derartigen Schalterkonzepten, deren bewegliche Balkenstruktur sich senkrecht zum Trägersubstrat bewegt, aus Polysilizium, Siliziumdioxid, Metall oder einem Schichtverbund aus mehreren Werkstoffen. Derartige Schalter sind bei I. Schiele, B. Hillerich, C. Evers, F. Kozlowski, Micromechanical Relay with Electrostatic Actuation, Proceedings Transducers 97, 9th International Conference on Solid-State Sensors and Actuators, Chicago/USA, 16-19 Juni 1997; Paul M. Zavracky, Sumit Majumder, Nicol E. McGruer, Micromechanical switches Fabricated Using Nickel Surface Micromachining, Journal of Microelectromechanical Systems, Bd.6, Nr.1, März 1997; und M.-A. Gretillat, P. Thiebaud, N. F. de Rooij, c. Linder, Electrostatic Polysilicon Microrelays Integrated with MOSFETs, Proc. IEEE MEMS Workshop 94, Oiso, Japan (1994), beschrieben. Diese Trägerbalken bei den bekannten Schaltern sind eigenspannungsbehaftet. Durch diese Eigenspannungen werden unerwünschte Deformationen des Trägerbalkens bewirkt. Beispielsweise verformt sich der bewegliche Teil des Schalters aus der Waferebene heraus. Um eine solche Verformung zu verhindern, muß die Eigenspannung reduziert werden, wobei dies jedoch nur sehr eingeschränkt möglich ist.

Um dennoch funktionsfähige Schalter herzustellen, wird diese Eigenspannung bei bekannten Schaltern dazu benutzt,

um eine gewollte Vordeformation des beweglichen Balkens einzustellen. Dies dient einmal dazu, einen großen Kontaktabstand zu erreichen, der die Hochfrequenztauglichkeit eines Mikrorelais garantiert. Ferner kann damit ein sogenannter Wanderkeilantrieb, wie er in der DE-C-4205029 beschrieben ist, realisiert werden. Hierbei ist jedoch nicht auszuschließen, daß es durch Inhomogenitäten bei der Prozeßführung zu unterschiedlichen Eigenspannungszuständen kommen kann, wodurch die Deformation variiert wird. Dies führt zu einer verringerten Ausbeute.

Wie oben beschrieben, bewegt sich die Balkenstruktur bei bekannten Mikroschaltern üblicherweise senkrecht zum Substrat. Durch die in der Mikrotechnik verwendeten Planartechnologien ist es dabei schwierig, auf den Kontaktstücken derartiger Schalter Kontaktspitzen zu strukturieren. Derartige Kontaktspitzen sind jedoch vorteilhaft, da sie den Kontaktdruck erhöhen und somit den Kontaktwiderstand verringern. Eine derartige Kontaktstelle ist beispielsweise in der oben genannten Schrift von Paul M. Zavracky u. a. offenbart. Hierbei wird in einer Kupfer-Opferschicht mittels isotropen Ätzens eine Vertiefung erzeugt. Diese Vertiefung wird mit dem Trägerwerkstoff des beweglichen Elements ausgefüllt, so daß nach dem Entfernen der Opferschicht eine Kontaktspitze entsteht. Die Form der Kontaktspitze ist jedoch durch die verfügbaren isotropen oder anisotropen Ätzverfahren bedingt, so daß dieselbe nicht frei gewählt und den jeweiligen Anforderungen angepaßt werden kann. Bei solchen vertikalen Schaltern ist zur Bildung der Kontaktspitze ein Lithographieschritt notwendig, wodurch die Herstellungskosten steigen.

Ein lateraler Schalter ist bei Rob Legtenberg, John Gilbert, Stephen D. Senturia, Miko Elwenspoek, Electrostatic Curved Electrode Actuators, Journal of Microelectromechanical Systems, Bd. 6, Nr. 3, September 1997, beschrieben. Dieser laterale Schalter weist eine gekrümmte Gegenelektrode auf. Der bewegliche Balken wird durch elektrostatische Kräfte betätigt. Ein Kurzschluß zwischen beweglicher Gegenelektrode und gekrümmter Elektrode wird unter anderem durch Stopper erreicht. Der bewegliche Balken besteht bei dem bekannten lateralen Schalter aus eigenspannungsbehaftetem Polysilizium, wodurch ebenfalls die oben beschriebenen Probleme entstehen. Ferner kann Polysilizium nur in dünnen Schichten abgeschieden werden, so daß die Herstellung eines Balkens mit großem Aspektverhältnis nicht möglich ist. Folglich ist die Steifigkeit des Balkens in der z-Richtung, d. h. senkrecht zu dem Substrat, gering. Dies hat Auswirkungen auf den Opferschichtätzprozeß. Bei einem naßchemischen Opferschichtätzen wird die freie Struktur durch Adhäsions- und Kohäsions-Kräfte der trocknenden Flüssigkeit zu dem Substrat hingezogen, wo sie dann kleben bleibt. Daher muß zur Herstellung dieses bekannten Schalters ein spezielles Opferschichtätzverfahren angewendet werden, was wiederum die Herstellungskosten erhöht.

Aus der DE-A-19530736 ist ein Verfahren zur Herstellung eines Beschleunigungssensors bekannt, bei dem SOI-Wafer (SOI = Silicon on Isolator) in Verbindung mit Tiefenätzverfahren verwendet werden. Bei dem bekannten Beschleunigungssensor wird eine bewegliche, auslenkbare Masse zusammen mit einer Kammstruktur zur kapazitiver Erfassung der Auslenkung der Masse durch das Wegätzen der unter diesen Strukturen angeordneten Siliziumoxidschicht gebildet.

Ausgehend von dem genannten Stand der Technik besteht die Aufgabe der vorliegenden Erfindung darin, einen einfach herstellbaren mikromechanischen Schalter zu schaffen, bei dem Probleme bezüglich einer Eigenspannung des Materials, aus dem die bewegliche Elektrode gebildet ist, besei-

tigt sind.

Diese Aufgabe wird durch einen mikromechanischen Schalter gemäß Anspruch 1 gelöst.

Eine weitere Aufgabe der vorliegenden Erfindung besteht darin, ein Verfahren zum Herstellen eines solchen mikromechanischen Schalters zu schaffen.

Diese Aufgabe wird durch ein Verfahren gemäß Anspruch 17 gelöst.

Die vorliegende Erfindung basiert primär auf der Erkenntnis, daß es möglich ist, einen lateralen mikromechanischen Schalter zu schaffen, bei dem eine Vielzahl der bei bekannten Schaltern auftretenden Probleme beseitigt sind, indem die wesentliche Struktur der beweglichen Elektrode eines lateralen mikromechanischen Schalters aus einem einkristallinen Halbleitermaterial, vorzugsweise einem einkristallinen Silizium, hergestellt ist.

Die vorliegende Erfindung schafft einen mikromechanischen Schalter, der ein Trägersubstrat, ein auf einer Hauptoberfläche des Trägersubstrats angeordnetes, feststehendes Kontaktstück, eine auf der Hauptoberfläche des Trägersubstrats angeordnete Gegenelektrode sowie eine bewegliche Elektrode aufweist. Die bewegliche Elektrode weist ein befestigtes Ende, das an der Hauptoberfläche des Trägersubstrats befestigt ist, und ein freies Ende auf. Die bewegliche Elektrode ist durch eine elektrostatische Anziehungskraft zwischen der beweglichen Elektrode und der Gegenelektrode bewegbar, um einen elektrischen Kontakt zwischen der beweglichen Elektrode und dem feststehenden Kontakt zu bilden bzw. zu lösen. Gemäß der vorliegenden Erfindung besteht die wesentliche Struktur der beweglichen Elektrode aus einem einkristallinen Halbleitermaterial, wobei die bewegliche Elektrode vorzugsweise als längliche Struktur ausgebildet ist, deren Höhe senkrecht zu der Hauptoberfläche des Trägersubstrats verglichen mit ihrer Breite parallel zu dem Substrat groß ist.

Der erfindungsgemäße mikromechanische Schalter weist einen lateral beweglichen Balken auf. Ein Vorteil eines lateralen Schalters besteht darin, daß das Schaltverhalten desselben schneller und genauer analysiert werden kann wie bei einem vertikalen Schalter. Da die Bewegungsrichtung des lateralen Schalters in der Substratebene liegt, lassen sich solche Schalter einfacher unter einem Mikroskop beobachten. Die Kontaktfläche sowie die Bewegung läßt sich somit schneller analysieren und bedarf keiner REM-Aufnahmen, die ohnehin meist nur statische Aufnahmen liefern.

Bei einem bevorzugten Ausführungsbeispiel gemäß der vorliegenden Erfindung weist der bewegliche Balken an dem freien Ende desselben einen Kontaktspitzenbereich auf. Durch einen derartigen Kontaktspitzenbereich erhöht sich der Kontaktdruck, was wiederum zu einem geringen Kontaktwiderstand und einem zuverlässigen Schalten führt. Die mikrotechnische Herstellung einer solchen Kontaktspitze ist bei lateral beweglichen Balken besonders einfach, da hier der Kontaktschluß in der lateralen Ebene stattfindet. Durch eine Phototechnik kann der bewegliche Balken mit Kontaktspitzen definiert und anschließend durch anisotrope Ätzverfahren strukturiert werden. Somit ist im Gegensatz zu vertikalen Schaltern zur Fertigung einer Kontaktspitze keine spezielle Phototechnik notwendig, was eine kostengünstige Fertigung ermöglicht. Ferner kann bei lateralen Schaltern die Form der Kontaktspitze frei gewählt werden, da dieselbe vollständig durch die Maske definiert wird.

Gemäß einem weiteren bevorzugten Ausführungsbeispiel der vorliegenden Erfindung weist der mikromechanische Schalter eine Rückstellfeder auf. Eine wichtige Teilfunktion eines Schalters ist das Speichern mechanischer Energie für die Kontaktöffnung nach Fortfall der Erregung. Bei bekannten vertikalen Schaltern wird durch die Deformation der be-

weglichen Struktur und in manchen Ausführungsformen auch durch die Deformation der kontaktgebenden Struktur eine mechanische Energie gespeichert, die zum Öffnen des Kontakts benötigt wird. Bei einem erfindungsgemäßen lateralen Schalter ist es möglich, eine Rückstellfeder zu strukturieren, die bei einer Erregung des Schalters gespannt wird und damit eine zusätzliche mechanische Energie speichert. Durch diese Rückstellfeder wird ein zuverlässiges Öffnen der Kontakte möglich. Ferner wird durch die Rückstelleinrichtung ein abruptes Öffnen der Kontakte erreicht, wodurch ein funkenfreies Schalten unterstützt wird. Die Spannkraft der Rückstellfeder ist während des Herstellungsverfahrens konstruktiv einstellbar, so daß die Schließ-, Öffnungs- und Halte-Werte des Schalters einfach zu beeinflussen sind. Überdies kann die Rückstelleinrichtung bei dem Herstellungsverfahren gemäß der vorliegenden Erfindung ohne zusätzliche Verfahrensschritte erzeugt werden, was eine kostengünstige Fertigung ermöglicht.

Wie oben beschrieben, basiert die vorliegende Erfindung auf der Verwendung eines einkristallinen Halbleitermaterials, vorzugsweise eines einkristallinen Siliziums, für die bewegliche Elektrode des lateralen Schalters. Da dieses Material eigenspannungsfrei ist, treten keinerlei Deformationen oder Verwerfungen auf. Weiterhin sind die Materialeigenschaften von einkristallinem Silizium sehr genau erforscht, so daß das Schaltverhalten des erfindungsgemäßen Schalters durch eine rechnergestützte Simulation gut voraussagbar ist. Ferner kann zur Herstellung der erfindungsgemäßen lateralen mikromechanischen Schalter vorteilhaft ein SOI-Wafer verwendet werden. Dadurch wird das Herstellungsverfahren einfach und kostengünstig. Mittels des erfindungsgemäßen Verfahrens ist es beispielsweise möglich, mit nur zwei Phototechniken einen lateralen Schalter herzustellen.

Bei dem erfindungsgemäßen Verfahren wird zunächst eine Dreischichtstruktur bereitgestellt, die aus einer Trägerschicht, einer auf derselben angeordneten Zwischenschicht und einer auf der Zwischenschicht angeordneten Schicht aus einem einkristallinen Halbleitermaterial besteht. In der einkristallinen Halbleitermaterialschicht werden ein feststehendes Kontaktstück, eine Gegenelektrode und eine Schaltelektrode strukturiert. Im Anschluß erfolgt ein zeitlich begrenztes Ätzen der Zwischenschicht derart, daß die Schaltelektrode mit Ausnahme eines Befestigungsbereichs derselben vollständig unterätzt wird, um eine bewegliche Elektrode zu bilden, wobei die bewegliche Elektrode, das feststehende Kontaktstück und die Gegenelektrode derart angeordnet sind, daß die bewegliche Elektrode durch eine elektrostatische Anziehungskraft zwischen derselben und der Gegenelektrode für eine Kontaktierung zwischen der beweglichen Elektrode und dem feststehenden Gegenstück bewegbar ist.

Bei einem Ausführungsbeispiel des erfindungsgemäßen Verfahrens wird beim Strukturieren der Schaltelektrode ein verdünnter Bereich der Schaltelektrode neben dem Befestigungsbereich derselben erzeugt, um dadurch eine Absenkung der Betätigungsspannung zu ermöglichen. Dieser Verdünnungsbereich wird erfindungsgemäß mittels eines Zweistufen-Prozesses erreicht, bei dem am Einspannpunkt des beweglichen Balkens Material durch Ätzen entfernt wird. Dadurch wird die Balkensteifigkeit reduziert, während die Elektrodenfläche nahezu konstant bleibt, wodurch niedrigere Betätigungsspannungen erreicht werden können. Ein weiterer Vorteil besteht darin, daß durch dieses Verfahren das Ansprechverhalten des Schalters gezielt beeinflusst werden kann, so daß in Kombination mit einer Rückstellfeder das gesamte statische und dynamische Verhalten steuerbar ist.

Ein weiterer Vorteil des erfindungsgemäßen mikromechanischen Schalters besteht darin, daß derselbe hochfrequenz-

tauglich ausgebildet werden kann. Zu diesem Zweck muß die Kontaktkapazität gering gehalten werden. Dies kann erreicht werden, wenn die feste Elektrode oder die bewegliche Elektrode als Kurve ausgebildet sind. Dies führt zu einem geringen Elektrodenabstand am Einspannpunkt, wodurch eine geringe Betätigungsspannung erreicht wird, und zu einem großen Kontaktabstand am freien Ende der beweglichen Elektrode, wodurch eine geringe Kontaktkapazität erreicht wird. Um das Hochfrequenzverhalten zu verbessern, ist es ferner vorteilhaft, das Trägersubstratmaterial unter der beweglichen Struktur zu entfernen. Dies ist vorteilhaft, da die bewegliche Struktur nur durch eine dünne, vorzugsweise 5 µm dicke Opferschicht von dem Trägersubstrat beabstandet ist und somit parasitäre Kapazitäten auftreten können, die zu einem Überkoppeln von Signalen von der beweglichen Elektrode über das Substrat zu der festen Elektrode kommen kann. Dies kann verhindert werden, indem das Substratmaterial unter der beweglichen Struktur entfernt wird, was beispielsweise durch einen Rückseiten-KOH-Prozeß erreicht werden kann.

Weitere vorteilhafte Ausgestaltungen des erfindungsgemäßen mikromechanischen Schalters sowie des erfindungsgemäßen Verfahrens zur Herstellung desselben sind in den abhängigen Ansprüchen dargelegt.

Bezugnehmend auf die beiliegenden Zeichnungen, in denen gleiche Elemente jeweils mit gleichen Bezugszeichen bezeichnet sind, werden nachfolgend bevorzugte Ausführungsbeispiele der vorliegenden Erfindung näher erläutert. Es zeigen:

**Fig. 1** eine schematische Draufsicht eines ersten bevorzugten Ausführungsbeispiels eines erfindungsgemäßen mikromechanischen Schalters;

**Fig. 2** eine schematische Draufsicht eines zweiten bevorzugten Ausführungsbeispiels eines erfindungsgemäßen mikromechanischen Schalters;

**Fig. 3A) bis 3D)** schematisch Schritte eines ersten bevorzugten Ausführungsbeispiels des erfindungsgemäßen Verfahrens zur Herstellung eines mikromechanischen Schalters;

**Fig. 4A) bis 4E)** schematisch Schritte eines zweiten bevorzugten Ausführungsbeispiels eines erfindungsgemäßen Verfahrens zur Herstellung eines mikromechanischen Schalters;

**Fig. 5A) bis 5C)** schematisch Schritte eines dritten bevorzugten Ausführungsbeispiels des erfindungsgemäßen Verfahrens zur Herstellung eines mikromechanischen Schalters;

**Fig. 6A) bis 6E)** schematisch Schritte eines vierten bevorzugten Ausführungsbeispiels eines erfindungsgemäßen Verfahrens zur Herstellung einer mikromechanischen Schalterstruktur; und

**Fig. 7** schematisch ein weiteres Ausführungsbeispiel eines erfindungsgemäßen mikromechanischen Schalters.

Nachfolgend werden bezugnehmend auf die Fig. 1 und 2 zwei bevorzugte Ausführungsbeispiele des erfindungsgemäßen lateralen Schalters beschrieben. Zunächst sei darauf hingewiesen, daß der erfindungsgemäße laterale Schalter vorzugsweise aus drei Hauptschichten gebildet ist, wobei die erste Schicht vorzugsweise aus Silizium besteht und als Trägermaterial dient. Die zweite Schicht besteht vorzugsweise aus Siliziumdioxid oder Polyimid, ist lateral ätzbar und isolierend, und dient ferner als Opferschicht zum Bilden der beweglichen Elektrodenstruktur. Eine dritte Schicht besteht aus einem einkristallinen Halbleitermaterial, vorzugsweise einem einkristallinen Silizium, das p- oder n-dotiert sein kann, eigenspannungsfrei ist, und in dem die eigentliche Struktur des erfindungsgemäßen lateralen Schalters gebildet ist. Dabei sind die feststehenden, aus der dritten Schicht ge-

bildeten Teile des mikromechanischen Schalters über die zweite, aus Siliziumdioxid oder Polyimid gebildete Schicht, mit der Trägerschicht verbunden.

In Fig. 1 ist eine schematische Draufsicht eines ersten bevorzugten Ausführungsbeispiels des erfindungsgemäßen mikromechanischen Schalters dargestellt. Es sei darauf hingewiesen, daß in Fig. 1 lediglich die aus der dritten Schicht, d. h. dem eigenspannungsfreien Material, gebildeten Strukturen dargestellt sind. Es ist offensichtlich, daß alle Strukturteile mit Ausnahme der beweglichen Elektrode über die zweite Schicht mit dem Trägersubstrat verbunden sind.

In Fig. 1 ist bei 10 ein Befestigungsbereich einer beweglichen Elektrode 12 dargestellt. Die bewegliche Elektrode 12 ist parallel zum Trägersubstrat beweglich, d. h. in Fig. 1 in der Papierebene. Die bewegliche Elektrode 12 ist durch einen Verbindungspunkt 14, an dem dieselbe mit dem Befestigungsbereich 10 verbunden ist, einseitig eingespannt. Ein Ende 16 der beweglichen Elektrode ist parallel zu dem Trägersubstrat beweglich und wird daher als freies Ende bezeichnet.

Benachbart zu der beweglichen Elektrode, jedoch beabstandet von derselben ist eine Gegenelektrode 18 auf dem Trägersubstrat angeordnet. Ferner ist ein feststehendes Kontaktstück 20 auf dem Trägersubstrat vorgesehen, derart, daß dasselbe durch die bewegliche Elektrode 12 kontaktiert werden kann.

Wie in Fig. 1 dargestellt ist, weist die Gegenelektrode 18 eine gekrümmte Oberfläche 22 auf, von der Anschlagvorrichtungen, oder Stopper, 24 vorstehen. Die Stopper 24 sind von der Gegenelektrode 18 jeweils um Zwischenräume 26 beabstandet, so daß die Gegenelektrode 18 und die Stopper 24 nicht auf dem gleichen Potential liegen. Bei dem in Fig. 1 dargestellten Ausführungsbeispiel ist ferner eine Rückstellvorrichtung gezeigt, die aus einem mit der beweglichen Elektrode 12 einstückig gebildeten Federbauteil 28 sowie einem fest mit dem Substrat verbundenen Gegenhaltebauteil 30 besteht. Wie in Fig. 1 gezeigt ist, weist das Federbauteil 28 bei diesem Ausführungsbeispiel eine im wesentlichen ankerartige Form auf. Wesentliche für die vorliegende Erfindung ist, daß die bewegliche Elektrode 12 aus einem einkristallinen Halbleitermaterial besteht und somit keine Eigenspannungen besitzt.

Wird nun zwischen der beweglichen Elektrode 12 und der Gegenelektrode 18 eine Spannung angelegt, entsteht eine elektrostatische Kraft, die den beweglichen -Balken, d. h. die bewegliche Elektrode 12, zu der Gegenelektrode 18 hinzieht. Da diese elektrostatische Kraft an den Stellen groß ist, an denen der Elektrodenabstand, zwischen beweglicher Elektrode 12 und Gegenelektrode 18, klein ist, schmiegt sich der Balken ausgehend von dem Einspannpunkt 14 an die kurvenförmige Gegenelektrode 18 an, bis der Kontakt zwischen einer Kontaktspitze 32, die an dem freien Ende der beweglichen Elektrode 12 gebildet ist, und dem feststehenden Kontaktstück 20 geschlossen ist. Die Stopper 24 verhindern hierbei einen Kurzschluß zwischen der beweglichen Elektrode 12 und der Gegenelektrode 18. Diese Stopper 24 bewirken, daß die ausgelenkte bewegliche Elektrode 12 von der Gegenelektrode 18 beabstandet bleibt, so daß es zu keiner Berührung zwischen der beweglichen Elektrode 12 und der Gegenelektrode 18 kommen kann.

Während die bewegliche Elektrode 12 zu der Gegenelektrode 18 hingezogen wird, treffen die zwei äußeren Enden 34 und 36 des Federbauteils 28 auf eine denselben zugewandte Oberfläche des Gegenhaltebauteils 30. Um eine Bewegung des einstückig mit der beweglichen Elektrode 12 gebildeten Teils der Rückstellvorrichtung zu ermöglichen, ist in dem Gegenhaltebauteil 30 ein Zwischenraum 38 angeordnet, in dem sich der entsprechende Teil des Federbauteils

28, der den gekrümmten Abschnitt desselben mit der beweglichen Elektrode 12 verbindet, bewegen kann. Die äußeren Enden 34, 36 des Federbauteils zugewandte Oberfläche des Gegenhaltebauteils 80 ist abgeschrägt, so daß die äußeren Enden bei einer Bewegung der beweglichen Elektrode 12 im wesentlichen gleichzeitig auf diese Oberfläche treffen. Wird nun die bewegliche Elektrode 12 weiter zu dem feststehenden Kontaktstück 20 hin bewegt, verbiegen sich die äußeren Enden 34, 36 des Federbauteils, so daß dieselben eine Spannung auf die bewegliche Elektrode 12 ausüben.

Wird nun die Spannung zwischen der beweglichen Elektrode 12 und der Gegenelektrode 18 unterbrochen, öffnet sich der Schalter zum einen aufgrund der Rückstellkraft des Balkens und zum anderen unterstützt durch die wirkende Spannung des Federbauteils 28. Durch diese gespannte Rückstellfeder wird ein schlagartiges Öffnen des Schalters erreicht, was für ein funkenfreies Schalten notwendig ist. Ferner ist ein schlagartiges Schließen des Schalters notwendig. Dieses schlagartige Schließen wird durch das elektrostatische Wirkprinzip erreicht, da die elektrostatische Kraft schneller ansteigt als die elastische Rückstellkraft des Balkens der beweglichen Elektrode. Dies führt dazu, daß bei einer bestimmten Spannung, die als Schnappspannung bezeichnet werden kann, der Balken schlagartig ausgelenkt wird.

In Fig. 2 ist eine schematische Draufsicht eines zweiten Ausführungsbeispiels des erfindungsgemäßen mikromechanischen Schalters dargestellt. Eine bewegliche Elektrode 42 weist an einem ersten Ende derselben wiederum einen Befestigungsbereich 10 auf, während das andere Ende 16 derselben parallel zu dem Trägersubstrat beweglich ist. An dem freien Ende 16 ist wiederum eine Kontaktspitze 32 vorgesehen. Es sei darauf hingewiesen, daß statt der in den Fig. 1 und 2 jeweils gezeigten einzelnen Spitze ein Spitzenbereich vorgesehen sein kann, der jeweils eine Mehrzahl von nebeneinander angeordneten Spitzen aufweist.

Wie in Fig. 2 gezeigt ist, weist eine Gegenelektrode 44 bei diesem Ausführungsbeispiel keine gekrümmte Oberfläche auf, sondern eine parallel zu der beweglichen Elektrode 42 verlaufende, derselben zugewandte Oberfläche 46. Beabstandet von der Gegenelektrode 44 ist wiederum ein feststehendes Kontaktstück 48 vorgesehen, das von der Kontaktspitze 32 der beweglichen Elektrode 42 kontaktierbar ist. Die bewegliche Elektrode 42 ist wiederum mit einer Rückstelleinrichtung versehen. Die Rückstelleinrichtung besteht aus einer Mehrzahl von Federbauteilen 50 sowie einem Gegenhaltebauteil 52. Das Gegenhaltebauteil 52 und die Federbauteile 50 sind derart ausgebildet, daß das Gegenhaltebauteil 52 ferner als ein Abstandhalter wirkt, der verhindert, daß die bewegliche Elektrode 42 mit der Gegenelektrode 44 in Berührung kommt. Dazu weist das Gegenbauteil Anschläge 54 auf, auf die bei einer Bewegung der beweglichen Elektrode 42 gegenüberliegende Flächen 56 der Federbauteile 50 treffen. Diese Flächen 56 sind über eine federartige Einrichtung 58 mit einem Längsträger 60 verbunden, wobei der Längsträger 60 über einen Querträger 62 mit der beweglichen Elektrode 42 verbunden ist.

Wird eine Spannung zwischen der Gegenelektrode 44 und der beweglichen Elektrode 42 angelegt, bewegt sich die bewegliche Elektrode 42 in Richtung der Gegenelektrode 44. Dadurch treffen die Flächen 56 auf die Anschläge 54, so daß die federartigen Einrichtungen 58 der Federbauteile 50 gegen das Gegenhaltebauteil 52 vorgespannt werden. Dadurch ergibt sich eine Spannung der Rückstelleinrichtung. Durch diese Spannung wird gleichzeitig bewirkt, daß die bewegliche Elektrode 42 von der Gegenelektrode 44 beabstandet bleibt. Das Öffnen und Schließen des in Fig. 2 dargestellten

Schalters geschieht auf die oben beschriebene Art und Weise. Diese Ausführungsform hat den Vorteil, daß keine Stopper benötigt werden, wodurch die Fläche der Gegenelektrode nicht verkleinert wird. Dies führt bei gleicher Spannung zu einer höheren elektrostatischen Kraft. Dadurch ergibt sich eine Erhöhung der Kontaktkraft zwischen der Kontaktspitze 32 und dem feststehenden Kontaktstück 48. Ein vergleichbarer Schalter, der bei - spielsweise die bezugnehmend auf Fig. 1 beschriebenen Stopper aufweist, muß mit einer höheren Spannung betrieben werden, da durch die Stopper die Fläche der Gegenelektrode verringert wird, wodurch die elektrostatische Kraft, die zum Auslenken des Balkens zur Verfügung steht, reduziert wird.

Bezugnehmend auf Fig. 3 wird nachfolgend ein erstes Ausführungsbeispiel eines erfindungsgemäßen Verfahrens zum Herstellen eines mikromechanischen Schalters erläutert. Als Ausgangsmaterial wird bei dem bevorzugten Ausführungsbeispiel ein SOI-Wafer verwendet, der aus einer Siliziumschicht 70, die als Trägerschicht dient, einer Zwischenschicht 72, die vorzugsweise aus Siliziumdioxid oder Polymid bestehen kann, und einer einkristallinen Siliziumschicht 74 besteht. Die Siliziumschicht 74 kann p- oder n-dotiert sein. In Fig. 3A ist ferner ein Koordinatensystem dargestellt, wobei die Koordinatenachsen desselben die Richtungen der hierin verwendeten Bezeichnungen x-Richtung, y-Richtung und z-Richtung definieren. Ferner sei darauf hingewiesen, daß in den schematischen Darstellungen der Fig. 3 bis 6 jeweils nur die Herstellungsschritte zum Herstellen der beweglichen Elektrode dargestellt sind, wobei es für Fachleute offensichtlich ist, wie gleichzeitig mit der Herstellung der beweglichen Elektrode die Gegenelektrode, das feststehende Kontaktstück sowie die Rückstelleinrichtung in den Schichten 72 und 74 auf der Trägerschicht 70 strukturiert werden können.

Bei dem nachfolgend bezugnehmend auf Fig. 3 beschriebenen Verfahren sind nur zwei Phototechniken nötig, um einen erfindungsgemäßen lateralen Schalter herzustellen. Zunächst wird auf die einkristalline Siliziumschicht 74 eine Haftschicht 76, die vorzugsweise aus TiW besteht, aufgebracht. Auf diese Haftschicht wird eine Metallschicht 78, die vorzugsweise aus Gold (Au) besteht, aufgebracht. Diese Schichten werden mittels einer ersten Phototechnik strukturiert, um Bondpads und Leiterbahnen zu bilden, wobei in Fig. 3A die beiden Schichten 76 und 78 bereits in ihrer strukturierten Form dargestellt sind.

Nachfolgend wird mittels eines zweiten photolithographischen Verfahrens, die Struktur 80 der beweglichen Elektrode und des feststehenden Bereichs derselben gebildet, um beispielsweise die in den Fig. 1 und 2 dargestellte Form aufzuweisen. In der folgenden Beschreibung wird diese bewegliche Elektrode zusammen mit dem feststehenden Bereich derselben als Schaltelektrode 80 bezeichnet, solange die Opferschicht 72 noch nicht entfernt ist und die bewegliche Elektrode somit noch nicht beweglich ist. Die Strukturierung der Schaltelektrode 80 kann z. B. in bekannter Weise durch die Verwendung einer Maskierung, einer Belichtung und eines Siliziumtiefenätzprozesses durchgeführt werden. Die resultierende Struktur ist in Fig. 3B dargestellt.

Im Anschluß wird die Opferschicht 72 geätzt, derart, daß nur noch Verbindungsteile derselben, zum Verbinden des feststehenden Bereichs der beweglichen Elektrode mit der Trägerschicht 70, sowie in gleicher Weise zur Verbindung der Gegenelektrode, des feststehenden Kontaktstücks sowie des feststehenden Gegenhaltebauteils mit der Trägerschicht 70 zurückbleiben. Die sich ergebende Struktur ist in Fig. 3C dargestellt. Die bewegliche Elektrode 80 ist somit an einem Ende derselben über das Verbindungsteil 82 mit der Trägerschicht 70 verbunden. Besteht die Opferschicht 72 aus Sili-

ziumdioxid, wird dieselbe in einem naßchemischen Prozeß geätzt, während dieselbe in einem Trockenätzprozeß, beispielsweise unter Verwendung eines Sauerstoffplasmas, geätzt wird, wenn dieselbe aus Polyimid besteht. Durch ein zeitlich begrenztes Ätzen werden nur die beweglichen Strukturen vollständig unterätzt, so daß dieselben freistehend sind, während die feststehenden Strukturen wegen der größeren Fläche nicht vollständig unterätzt werden, so daß dieselben stehen bleiben, siehe Verbindungsteil 82.

In einem abschließenden Schritt D wird nachfolgend eine Metallschicht 84 aufgebracht, die vorzugsweise aus Gold besteht. Diese Metallschicht wird bei einem bevorzugten Ausführungsbeispiel mittels eines Sputterverfahrens aufgebracht. Diese Metallschicht 84 dient als Kontaktwerkstoff. Die Metallschicht belegt sowohl die Flächen in der Wafer-ebene als auch die vertikalen Seitenflächen des beweglichen Balkens. Da die Dicke der Metallschicht 84 dünner ist als die Dicke der Opferschicht 72 bleibt zwischen dem beweglichen Balken und der Oberfläche der Trägerschicht 70 ein Luftspalt bestehen, wie in Fig. 3D gezeigt ist, so daß der Balken frei beweglich bleibt. Wird der Balken ausgelenkt, trifft die metallisierte Kontaktspitze, wobei die Kontaktspitze bei dem oben genannten Schritt des Strukturierens der Schaltelektrode 80 strukturiert wird, auf das feststehende ebenfalls metallisierte Kontaktstück und der Stromkreis ist geschlossen. Es sei darauf hingewiesen, daß auf die separate Metallisierung verzichtet werden kann, wenn die einkristalline Siliziumschicht 74 dotiert ist, um eine ausreichende Leitfähigkeit aufzuweisen.

Bezugnehmend auf Fig. 4 wird nun ein zweites bevorzugtes Ausführungsbeispiel des erfindungsgemäßen Verfahrens erläutert. Das zweite bevorzugte Ausführungsbeispiel unterscheidet sich bezüglich des ersten Ausführungsbeispiels, das in Fig. 3 dargestellt ist, lediglich durch einen Rückseitenätzprozeß, durch den die Trägerschicht 70 in dem Bereich, der später unterhalb des beweglichen Balkens liegt, zu entfernt wird. Zu diesem Zweck wird zunächst auf der Rückseite der Trägerschicht 70 eine Maskierungsschicht aufgebracht, die vorzugsweise aus einer Siliziumdioxidschicht 86 und einer Siliziumnitridschicht 88 besteht. Diese Maskierungsschicht wird im Anschluß, d. h. nach dem Strukturieren der Bondpads unter der Leiterbahnen auf der einkristallinen Siliziumschicht 74 strukturiert, um eine Maske 90 für das Ätzen der Trägerschicht 70 zu bilden. Nachfolgend wird vorzugsweise mittels eines KOH-Ätzprozesses ein Graben 92 geätzt, der bis zu der Opferschicht 72 reicht, wie in Fig. 4B gezeigt ist. Mittels dieses Verfahrensschrittes wird das Substratmaterial der Trägerschicht 70, das sich unterhalb oder in unmittelbarer Nähe zum beweglichen Balken befindet, entfernt. Dies ist vorteilhaft dahingehend, daß beim späteren Betrieb des Schalters ein Überkoppeln von Signalen über das feststehende Kontaktstück, die Trägerschicht und den beweglichen Balken verhindert wird. Die in den Fig. 4C bis 4E dargestellten Verfahrensschritte entsprechen den Verfahrensschritten, die bezugnehmend auf die Fig. 3B bis 3D beschrieben wurden.

In den Fig. 5A bis 5D ist ein drittes bevorzugtes Ausführungsbeispiel des erfindungsgemäßen Verfahrens dargestellt. Das in Fig. 5 dargestellte Verfahren stellt einen Zweistufenprozeß dar, wobei sich die beiden Stufen auf die Erzeugung des beweglichen Balkens beziehen, der in zwei Prozeßschritten strukturiert wird. Als Ausgangspunkt dient wiederum ein SOI-Wafer bestehend aus den Schichten 70, 72 und 74. Auf die Oberseite der einkristallinen Siliziumschicht 74 wird zunächst eine Maskierungsschicht 94 aufgebracht, die bei einem bevorzugten Ausführungsbeispiel aus einer Haftschrift 76 (TiW) einer Metallschicht 78 (Au) und einer Siliziumdioxidschicht 96 besteht. Diese Maskierungs-

schicht 94 dient wiederum dazu, Bondpads und Leiterbahnen auf der einkristallinen Siliziumschicht 74 zu definieren. Ferner wird die aufgebrachte Maskierungsschicht 94 strukturiert, um einen Bereich 98 zu definieren, der einen verdünnten Bereich des beweglichen Balkens festlegt. Die sich ergebende Struktur mit der Maske für die Dünnung des beweglichen Balkens im Bereich des Einspannpunkts ist in Fig. 5A dargestellt.

Im Anschluß daran wird, wie in Fig. 5B dargestellt ist, ein Photolack 100 auf die Maskierungsschicht 94 sowie den freien Bereich 98 aufgebracht und belichtet, um die Struktur der beweglichen Elektrode festzulegen. Nachfolgend wird ein Ätzschritt durchgeführt, der jedoch zeitlich begrenzt ist, so daß der Siliziumbalken nicht vollständig strukturiert wird, wie bei 102 in Fig. 5B dargestellt ist. Nach diesem Ätzschritt wird der Photolack 100 entfernt, woraufhin ein weiterer Tiefenätzschritt durchgeführt wird, bei dem die einkristalline Siliziumschicht außerhalb der Balkenstruktur vollständig entfernt wird und gleichzeitig am Einspannpunkt des Balkens Silizium entfernt wird, um eine Dünnung 104 in dem Balken zu erzeugen, wie in Fig. 5C dargestellt ist. Somit ist eine Schaltelektrode 106 mit einer Dünnung 104 erzeugt. Anschließend wird die Siliziumdioxidschicht 96, die als Maskierungsschicht diente, entfernt. Im weiteren Verlauf des Verfahrens erfolgt der Entfernen der Opferschicht und das Aufbringen der Metallschicht in der gleichen Weise wie oben bezugnehmend auf das erste und das zweite Ausführungsbeispiel beschrieben wurden. Wie der Fig. 5D zu entnehmen ist, verbleiben dabei bei diesem Ausführungsbeispiel die Haftschrift 76 und die Metallschicht 78 auf der gesamten Oberfläche der beweglichen Elektrode mit Ausnahme des Dünnungsbereichs.

Durch die örtliche Dünnung des Balkens am Einspannpunkt kann bewirkt werden, daß die Federsteifigkeit des Balkens verringert ist. Dieses Verfahren ist vorteilhaft, da der Balken nicht beliebig schmal strukturiert werden kann. Die Phototechniken sowie der Tiefenätzprozeß erfordern nämlich eine Mindestdicke des Balkens. Eine verminderte Steifigkeit eines solchen Balkens kann somit nur durch eine örtliche Verringerung der Schichtdicke erreicht werden, wobei eine solche örtliche Verringerung durch das dritte Ausführungsbeispiel der erfindungsgemäßen Verfahrens erreicht wird.

In Fig. 6 ist ein viertes Ausführungsbeispiel eines erfindungsgemäßen Verfahrens zum Herstellen eines mikromechanischen Schalters dargestellt. Das in Fig. 6 dargestellte Verfahren stellt eine Kombination der in den Fig. 4 und 5 dargestellten Verfahren dar. Bei diesem vierten Ausführungsbeispiel wird somit eine bewegliche Elektrode mit einem verdünnten Bereich erzeugt und ferner die Trägerschicht 70 in den Bereich unterhalb des beweglichen Teils der Elektrode entfernt, indem ein Graben 92 in die Trägerschicht geätzt wird. Die jeweiligen Verfahrensschritte entsprechen denen, die bezugnehmend auf die Fig. 4 und 5 beschrieben wurden.

Die obige Beschreibung bezog sich auf die Verwendung von Silizium zum Bilden der Trägerschicht, wobei es jedoch für Fachleute offensichtlich ist, daß diese Schicht aus einem anderen Material bestehen kann, das als Substratmaterial geeignet ist. Die beschriebene Zwischenschicht besteht vorzugsweise aus Siliziumdioxid oder Polyimid. Diese als Opferschicht und als Ätzstoppschicht dienende Schicht kann auch aus anderen Materialien bestehen, solange dieselben strukturierbar, lateral ätzbar und isolierend sind. Siliziumdioxid ist temperaturstabiler als Polyimid, wird aber in einem naßchemischen Ätzprozeß entfernt, wobei Haftprobleme, die nachfolgend erläutert werden, bestehen können. Dagegen wird Polyimid in einem Trockenätzprozeß im Sauer-



stoffplasma geätzt, wodurch die genannte Haftproblematik umgangen wird. Die zur Strukturierung der beweglichen Elektrode verwendete Schicht besteht bei dem beschriebenen Ausführungsbeispiel aus einer einkristallinen Siliziumschicht, die p- oder n-dotiert sein kann. In gleicher Weise kann eine andere einkristalline Halbleiterschicht verwendet werden, solange dieselbe eigenspannungsfrei ist. Die Dicke der einkristallinen Halbleiterschicht liegt vorzugsweise in einem Bereich zwischen 10 und 100 µm und am bevorzugtesten ist dieselbe 30 µm dick. Die bewegliche Balkenschicht wird aus dieser einkristallinen Siliziumschicht strukturiert, indem ein anisotropes Siliziumätzverfahren, ein sogenanntes Tiefenätzverfahren, verwendet wird. Durch dieses Verfahren werden Strukturen erzeugt, die ein großes Aspektverhältnis aufweisen. Beispielsweise kann die Höhe des Balkens in z-Richtung 30 µm betragen, während die Breite des Balkens in y-Richtung 5 µm beträgt. Dadurch wird eine hohe Steifigkeit in der z-Richtung und eine geringe Steifigkeit in der lateralen x-y-Ebene erreicht. Aufgrund dieser geringen Steifigkeiten kann ein derartiger Schalter mittels eines elektrostatischen Antriebs mit geringen Betätigungsspannungen betrieben werden. Das Öffnen der Kontakte kann vorzugsweise durch die Rückstellfeder unterstützt werden. Ferner wird ein Anhaften der Struktur am Substrat, d. h. der Trägerschicht, beim Ätzen der Opferschicht durch die hohe Steifigkeit der Balken in der z-Richtung verhindert.

Dieses Anhaften der frei geätzten Strukturen nach dem Trocknungsprozeß an dem Substrat tritt bei naßchemischen Opferschichtätzverfahren auf. Bei solchen Verfahren wird erfindungsgemäß eine Struktur mit hohem Aspektverhältnis und somit einer großen Steifigkeit in der z-Achse verwendet. Somit reichen die Adhäsions- bzw. Kohäsions-Kräfte der trocknenden Flüssigkeit nicht mehr aus, um die Balkenstruktur nach unten zu der Trägerschicht zu ziehen, wo sie dann kleben bleiben würde. Jedoch kann ab einer kritischen Länge bei naßchemischen Ätzverfahren dennoch ein Anhaften am Substrat erfolgen, da die Rückstellkraft des Balkens mit zunehmender Länge abnimmt. Derartige Strukturen, die einen Balken großer Länge aufweisen, können durch die Verwendung von Polyimid als Opferschicht in einem Trockenätzprozeß freigeätzt werden, so daß auch hier das Problem des Anhaftens nicht auftritt.

Ein weiteres Ausführungsbeispiel eines erfindungsgemäßen mikromechanischen Schalters ist in Fig. 7 dargestellt. Elemente des in Fig. 7 dargestellten Schalters, die denen des in Fig. 1 dargestellten Ausführungsbeispiels entsprechen, sind mit gleichen Bezugszeichen bezeichnet.

Bei dem in Fig. 7 dargestellten Ausführungsbeispiel ist die bewegliche Elektrode 12' zumindest in den der Gegenelektrode 18 gegenüberliegenden Bereichen mit einer Isolationsschicht (nicht dargestellt) versehen. Bei bevorzugten Ausführungsbeispielen, bei denen die bewegliche Elektrode 12' aus einkristallinem Silizium besteht, kann die Isolationsschicht beispielsweise eine Siliziumdioxidschicht sein. Wie in Fig. 7 gezeigt ist, sind die bewegliche Elektrode 12' und die Stopper 24' über eine Verbindungsstruktur 200 und den Befestigungsbereich 10' verbunden. Somit können die bewegliche Elektrode 12' und die Stopper 24' auf einem gleichen Potential gehalten werden.

Bei dem in Fig. 7 dargestellten Ausführungsbeispiel ist der mikromechanische Schalter mittels einer Treibereinrichtung 202 betätigbar. Die elektrostatische Antriebseinrichtung ist somit durch die Treibereinrichtung 202 sowie einen Plattenkondensator, bestehend aus der beweglichen Elektrode 12' und der Gegenelektrode 18, gebildet. Um bei diesem Ausführungsbeispiel eine Kontaktierung zwischen diesen Elektroden zu verhindern, sind zum einen die Stopper

24' vorgesehen und ist zum anderen die bewegliche Elektrode 12' zumindest in dem den Stoppern 24' gegenüberliegenden Bereichen mit einer Isolationsschicht versehen.

Bei einem solchen Aufbau kommt es zur Bildung von Oberflächenladungen, hauptsächlich auf der Isolationsschicht, die auch nach einer Unterbrechung der Spannungsversorgung 202 noch existent sind. Eine Möglichkeit zur Verringerung der Oberflächenladungen besteht darin, das Bauteil mit einer Wechselspannung zu betreiben. Jedoch kann die Bildung von Oberflächenladungen besser unterdrückt werden, indem die bewegliche Elektrode 12' und die Stopper 24' auf dem gleichen elektrischen Potential gehalten werden.

Bei dem in Fig. 7 dargestellten Ausführungsbeispiel bewegt sich bei einer Anregung die bewegliche Elektrode in Richtung der Gegenelektrode, bis der Kontakt zwischen der Kontaktspitze 32 und dem feststehenden Kontaktstück 20 geschlossen ist. Dabei verhindern die Isolationsschicht des beweglichen Balkens und die strukturierten Stopper, daß es zu einem Kurzschluß zwischen der beweglichen Elektrode 12' und der Gegenelektrode 18 kommt. Dadurch, daß an der beweglichen Elektrode 12' und den Stoppern 24' das gleiche Potential anliegt, wird die Erzeugung von bleibenden Oberflächenladungen, hauptsächlich in der Siliziumdioxidschicht, verhindert.

Um zu erreichen, daß die bewegliche -Elektrode und die Stopper auf einem gleichen Potential liegen, sind dieselben vorzugsweise elektrisch verbunden. Wie in Fig. 7 dargestellt ist, können dazu die bewegliche Elektrode und die Stopper einstückig aus der Schicht aus dem einkristallinen Halbleitermaterial gebildet sein, wobei dieselben durch die Verbindungsstruktur 200 verbunden sind.

#### Patentansprüche

1. Mikromechanischer Schalter mit folgenden Merkmalen:

einem Trägersubstrat (70);  
einem auf einer Hauptoberfläche des Trägersubstrats (70) angeordneten feststehenden Kontaktstück (20; 48);  
einer auf der Hauptoberfläche des Trägersubstrats (70) angeordneten Gegenelektrode (18; 44); und  
einer beweglichen Elektrode (12; 12'; 42) mit einem befestigten Ende (14), das an der Hauptoberfläche des Trägersubstrats (70) befestigt ist, und einem freien Ende (16), wobei die bewegliche Elektrode (12; 12'; 42) durch eine elektrostatische Anziehungskraft zwischen der beweglichen Elektrode (12; 12'; 42) und der Gegenelektrode (18; 44) bewegbar ist, um einen elektrischen Kontakt zwischen der beweglichen Elektrode (12; 12'; 42) und dem feststehenden Kontaktstück (20; 48) zu bilden und aufzutrennen, wobei die wesentliche Struktur der beweglichen Elektrode (12; 12'; 42) aus einem einkristallinen Halbleitermaterial besteht.

2. Mikromechanischer Schalter gemäß Anspruch 1, bei dem die wesentliche Struktur der beweglichen Elektrode (12; 12'; 42) aus einkristallinem Silizium besteht.

3. Mikromechanischer Schalter gemäß Anspruch 1 oder 2, bei dem die bewegliche Elektrode (12; 12'; 42) als längliche Struktur ausgebildet ist, deren Höhe senkrecht zu der Hauptoberfläche des Trägersubstrats (70) verglichen mit ihrer Breite parallel zu dem Trägersubstrat groß ist.

4. Mikromechanischer Schalter gemäß einem der Ansprüche 1 bis 3, bei dem die bewegliche Elektrode (12; 12'; 42) im Bereich des Befestigungsendes derselben

einen Abschnitt mit verringerter Höhe (104) senkrecht zu dem Trägersubstrat (70) aufweist.

5. Mikromechanischer Schalter gemäß einem der Ansprüche 1 bis 4, bei dem die bewegliche Elektrode an dem freien Ende (16) eine Kontaktspitze (32) zur Erhöhung des Kontaktdrucks mit dem feststehenden Kontaktstück (20; 48) aufweist.

6. Mikromechanischer Schalter gemäß einem der Ansprüche 1 bis 5, bei dem eine Rückstellvorrichtung vorgesehen ist, die bei einer Bewegung der beweglichen Elektrode (12; 12'; 42) zu dem feststehenden Kontaktstück (20; 48) hin gespannt wird, derart, daß beim Fehlen einer elektrostatischen Anziehungskraft zwischen der beweglichen Elektrode (12; 12'; 42) und dem feststehenden Kontaktstück (20; 48) die bewegliche Elektrode (12; 12'; 42) von dem feststehenden Kontaktstück (20; 48) weggezogen wird.

7. Mikromechanischer Schalter gemäß Anspruch 6, bei dem die Rückstellvorrichtung derart ausgebildet ist, daß dieselbe ferner als Abstandhalter wirkt, der verhindert, daß die bewegliche Elektrode (42) in Kontakt mit der Gegenelektrode (44) kommt.

8. Mikromechanischer Schalter gemäß einem der Ansprüche 1 bis 6, bei dem die der beweglichen Elektrode (12; 12') zugewandte Oberfläche (22) der Gegenelektrode (18) gekrümmt ausgebildet ist, derart, daß die Beabstandung derselben von der beweglichen Elektrode am Befestigungsende (14) der beweglichen Elektrode kleiner ist als am freien Ende (16) derselben.

9. Mikromechanischer Schalter gemäß Anspruch 8, bei dem aus der gekrümmten Oberfläche (22) der Gegenelektrode (18) vorstehende Anschlageinrichtungen (24; 24') vorgesehen sind, die bezüglich der Gegenelektrode (18) elektrisch isoliert sind und einen Kontakt zwischen der beweglichen Elektrode (12; 12') und der Gegenelektrode (18) verhindern.

10. Mikromechanischer Schalter gemäß einem der Ansprüche 1 bis 9, bei dem die bewegliche Elektrode (12; 12'; 42) im wesentlichen ganz flächig mit einer Metallisierungsschicht (84) versehen ist.

11. Mikromechanischer Schalter gemäß einem der Ansprüche 1 bis 9, bei dem das Halbleitermaterial, aus dem die bewegliche Elektrode (12; 12'; 42) besteht, derart dotiert ist, daß die bewegliche Elektrode leitfähig ist.

12. Mikromechanischer Schalter gemäß einem der Ansprüche 1 bis 11, bei dem das Trägersubstrat (70) unterhalb der beweglichen Elektrode (12; 12'; 42) eine Ausnehmung (92) aufweist.

13. Mikromechanischer Schalter gemäß Anspruch 12, bei dem die Ausnehmung (92) das Trägersubstrat (70) vollständig durchdringt.

14. Mikromechanischer Schalter gemäß Anspruch 9, bei dem die bewegliche Elektrode (12') zumindest in den der Gegenelektrode (18) gegenüberliegenden Bereichen mit einer Isolationsschicht beschichtet ist, wobei die bewegliche Elektrode (12') und die Anschlageinrichtungen (24') mit dem gleichen Potential beaufschlagbar sind.

15. Mikromechanischer Schalter gemäß Anspruch 14, bei dem die bewegliche Elektrode (12') und die Anschlageinrichtungen (24') elektrisch leitend verbunden sind.

16. Mikromechanischer Schalter gemäß Anspruch 15, bei dem die wesentlichen Strukturen der beweglichen Elektrode (12') und der Anschlageinrichtungen (24') einstückig aus dem einkristallinen Halbleitermaterial gebildet sind.

17. Verfahren zur Herstellung eines mikromechanischen Schalters mit folgenden Schritten:

a) Bereitstellen einer Dreischichtstruktur (70, 72, 74), bestehend aus einer Trägerschicht (70), einer auf derselben angeordneten Zwischenschicht (72) und einer auf der Zwischenschicht (72) angeordneten Schicht (74) aus einem einkristallinen Halbleitermaterial;

b) Strukturieren eines feststehenden Kontaktstücks (20; 48), einer Gegenelektrode (18; 44) und einer Schaltelektrode (80; 106) in der einkristallinen Halbleitermaterialschicht (74); und

c) zeitlich begrenztes Ätzen der Zwischenschicht (72) derart, daß die Schaltelektrode (80; 106) mit Ausnahme eines Befestigungsbereichs derselben vollständig unterätzt wird, zum Bilden einer beweglichen Elektrode (12; 42),

wobei die bewegliche Elektrode (12; 42), das feststehende Kontaktstück (20; 48) und die Gegenelektrode (18; 44) derart angeordnet sind, daß die bewegliche Elektrode (12; 42) durch eine elektrostatische Anziehungskraft zwischen derselben und der Gegenelektrode für eine Kontaktierung zwischen der beweglichen Elektrode und dem feststehenden Kontaktstück bewegbar ist.

18. Verfahren gemäß Anspruch 17, bei dem nach dem Schritt a) Bondpads und Leiterbahnen (76, 78) auf der Schicht aus dem einkristallinen Halbleitermaterial (74) strukturiert werden.

19. Verfahren gemäß Anspruch 17 oder 18, bei dem nach dem Schritt (c) ein Schritt des Aufbringens einer Metallisierungsschicht (84) zumindest auf die bewegliche Elektrode, die Gegenelektrode und das feststehende Kontaktstück erfolgt.

20. Verfahren gemäß einem der Ansprüche 17 bis 19, bei dem nach dem Schritt a) der Bereich (92) der Trägerschicht (70), der nach Abschluß des Schritts c) dem beweglichen Teil der beweglichen Elektrode gegenüberliegen würde, entfernt wird.

21. Verfahren gemäß Anspruch 20, bei dem der Bereich (92) der Trägerschicht (70) mittels eines KOH-Ätzverfahrens entfernt wird.

22. Verfahren gemäß einem der Ansprüche 17 bis 21, bei dem im Schritt b) beim Strukturieren der Schaltelektrode (106) ein verdünnter Bereich (104) der Schaltelektrode neben dem Befestigungsbereich derselben erzeugt wird.

23. Verfahren gemäß Anspruch 22, bei dem die Schaltelektrode (106) mit dem verdünnten Bereich (104) mittels folgender Teilschritte strukturiert wird:

b1) Aufbringen einer ersten Maskenschicht (94) zum Festlegen eines Dünnungsbereichs (98) auf die Schicht (74) aus dem einkristallinen Halbleitermaterial, derart, daß der Dünnungsbereich (98) nicht von der ersten Maskenschicht (94) bedeckt ist;

b2) Aufbringen einer zweiten Maskenschicht (100) zum Festlegen der Struktur der Schaltelektrode (106) auf die erste Maskenschicht (94) und den Dünnungsbereich (98);

b3) zeitlich begrenztes Ätzen der Schicht (74) aus dem einkristallinen Halbleitermaterial, wobei nur die zweite Maskenschicht (100) als Ätzmaske dient, derart, daß die Schicht (74) aus dem einkristallinen Halbleitermaterial in Bereichen außerhalb der zweiten Maskenschicht (100) lediglich bis zu einer bestimmten Tiefe (102) geätzt wird;

b4) Entfernen der zweiten Maskenschicht (100);



und

b5) Ätzen der Schicht (74) aus dem einkristallinen Halbleitermaterial bis die im Schritt b3) verbliebene restliche Schicht (74) aus dem einkristallinen Halbleitermaterial außerhalb der ersten Maskenschicht und dem Dünnungsbereich (98) vollständig entfernt ist. 5

24. Verfahren gemäß Anspruch 23, bei dem als erste Maskenschicht (94) eine Schichtfolge, bestehend aus einer Haftschrift (76), einer Metallschicht (78) und einer Oxidschicht (96), und als zweite Maskenschicht (100) ein Photolack verwendet wird. 10

25. Verfahren gemäß einem der Ansprüche 17 bis 24, bei dem die Zwischenschicht (72) auf  $\text{SiO}_2$  besteht, wobei der Schritt c) mittels eines naßchemischen Ätzverfahrens durchgeführt wird. 15

26. Verfahren gemäß einem der Ansprüche 17 bis 24, bei dem die Zwischenschicht (72) aus Polyimid besteht, wobei der Schritt c) mittels eines Trockenätzverfahrens durchgeführt wird. 20

27. Verfahren gemäß einem der Ansprüche 17 bis 26, bei dem die Trägerschicht (70) aus Silizium besteht und als einkristallines Halbleitermaterial einkristallines Silizium verwendet wird.

28. Verfahren gemäß einem der Ansprüche 17 bis 27, bei dem im Schritt b) ferner eine Rückstellvorrichtung in der Schicht (74) aus dem einkristallinen Halbleitermaterial strukturiert wird, wobei ein Teil derselben einstückig mit der Schaltelektrode (80; 106) verbunden ist und im Schritt c) vollständig unterätzt wird, und ein zweiter Teil fest mit der Trägerschicht (70) verbunden bleibt. 30

29. Verfahren gemäß einem der Ansprüche 17 bis 28, bei dem im Schritt b) die Schaltelektrode an einem von dem Befestigungsbereich derselben entfernten Ende mit einer Kontaktspitze strukturiert wird. 35

---

Hierzu 7 Seite(n) Zeichnungen

---

40

45

50

55

60

65

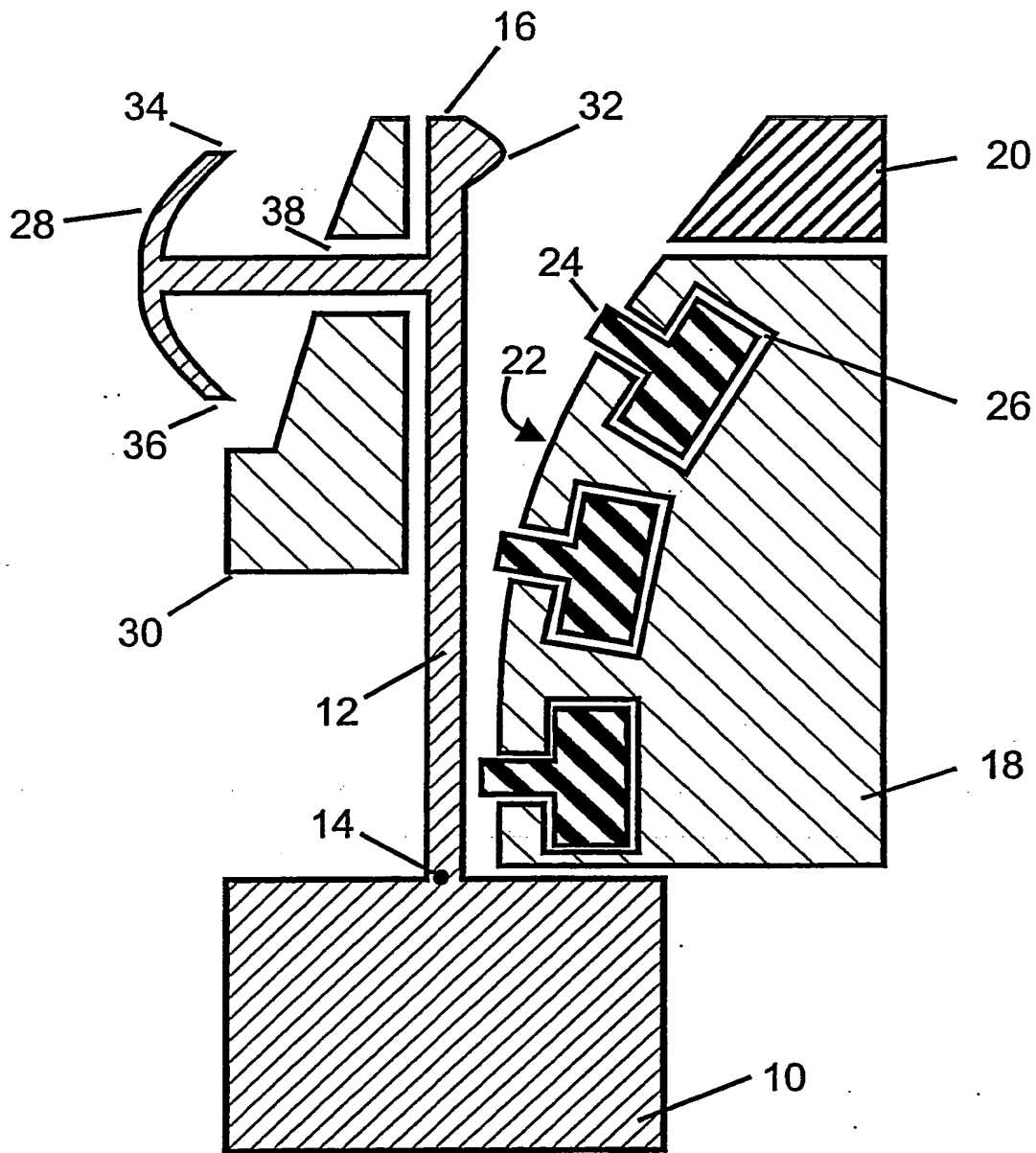


Fig.1

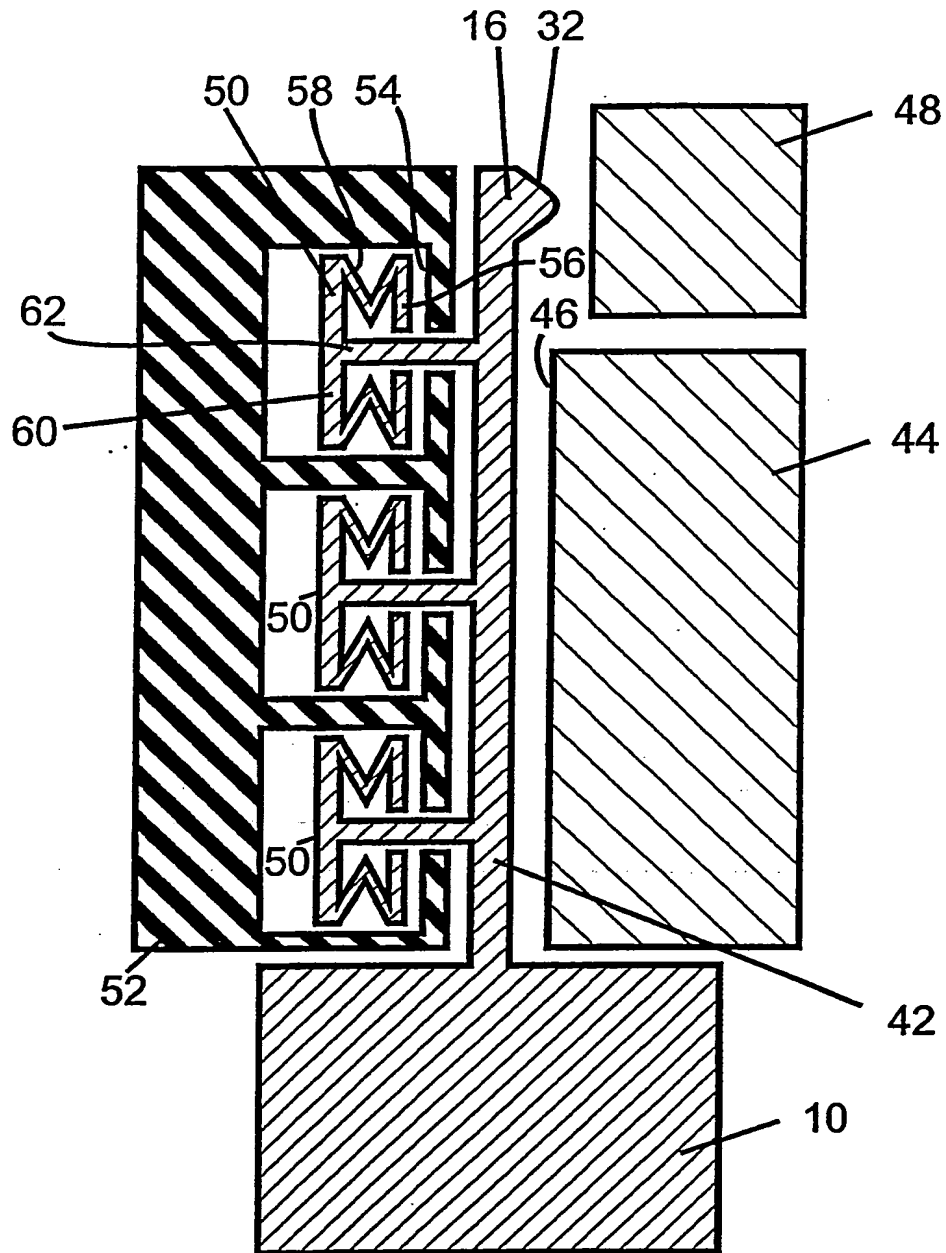


Fig.2

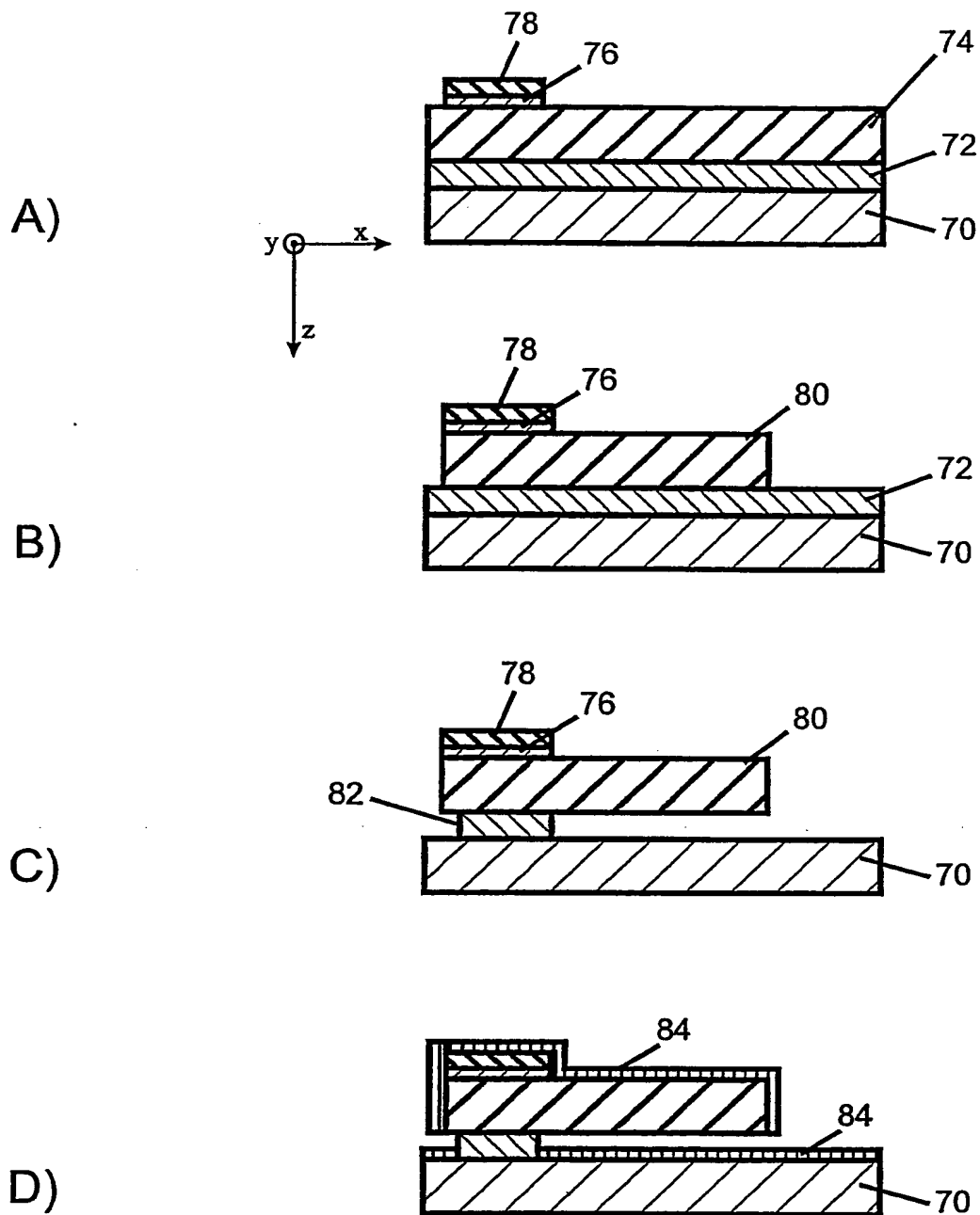


Fig.3

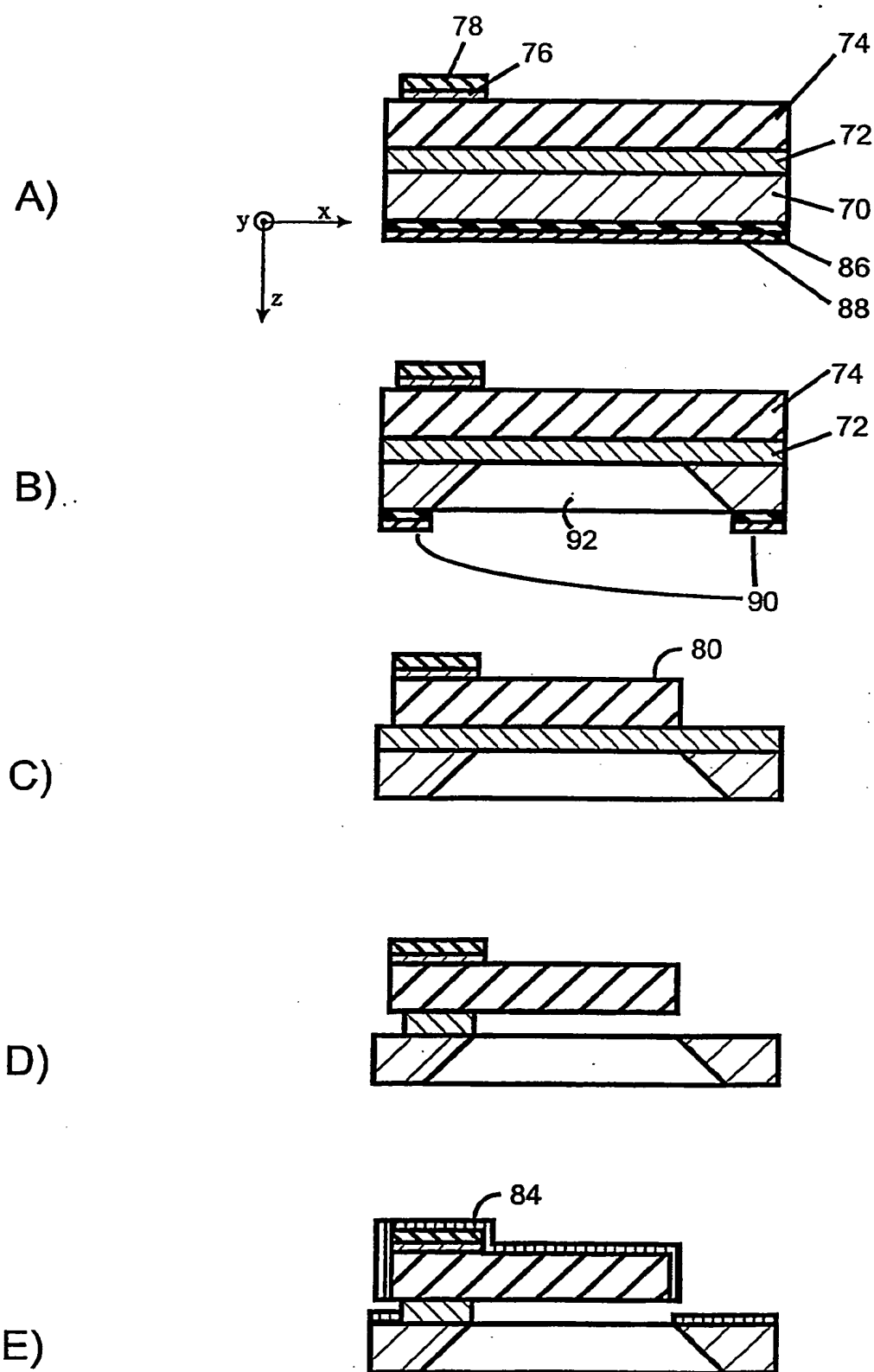


Fig.4

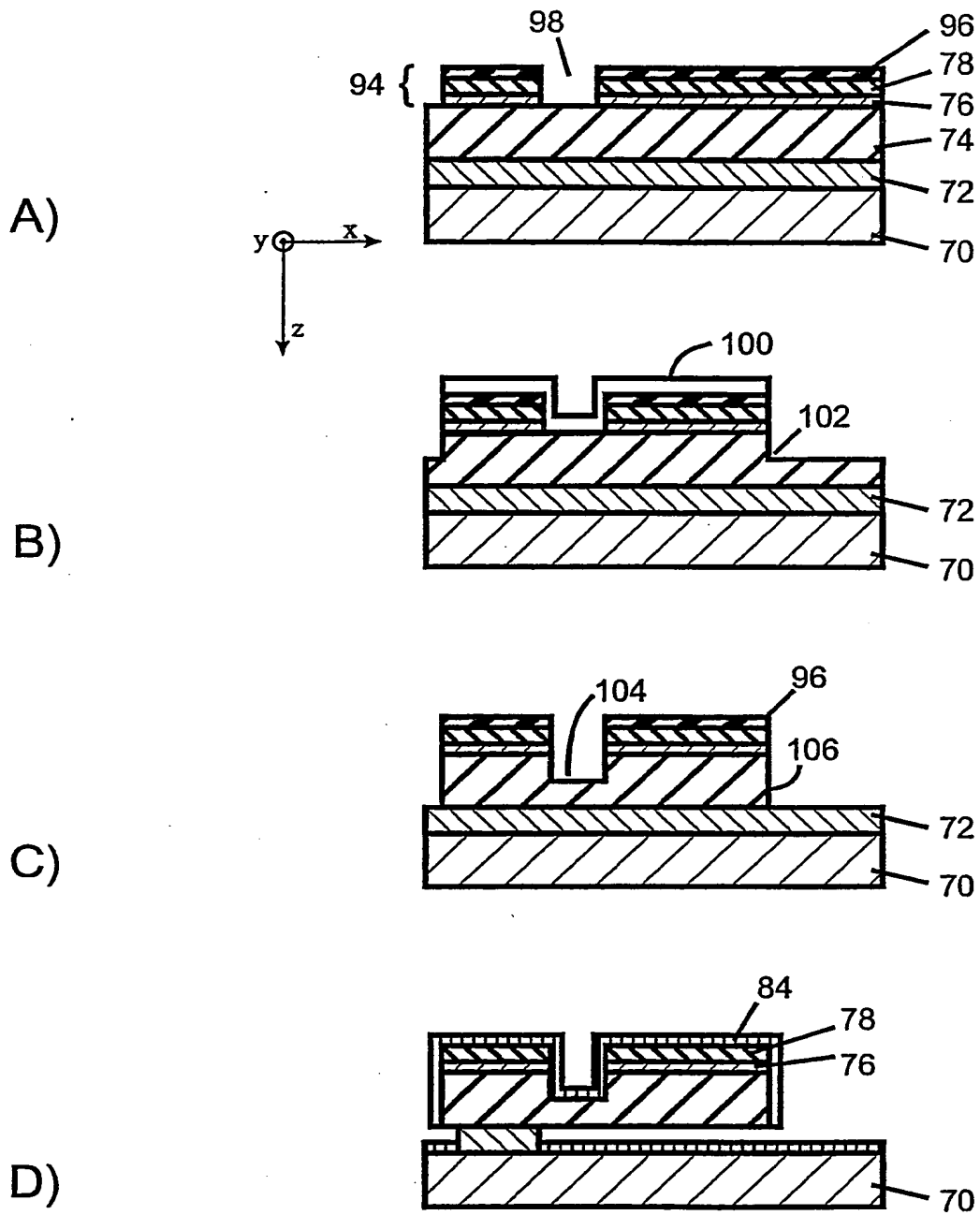


Fig.5



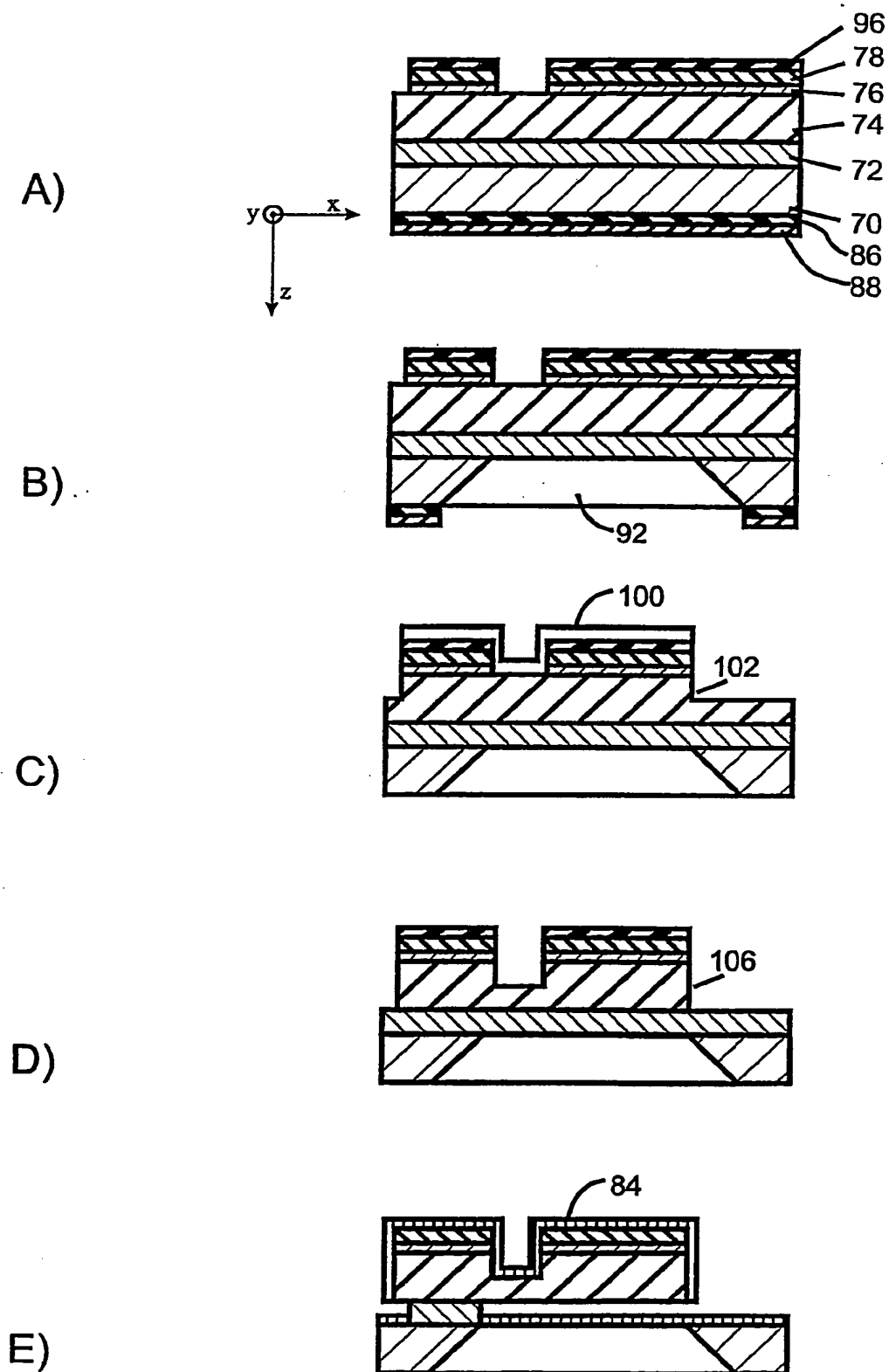


Fig.6

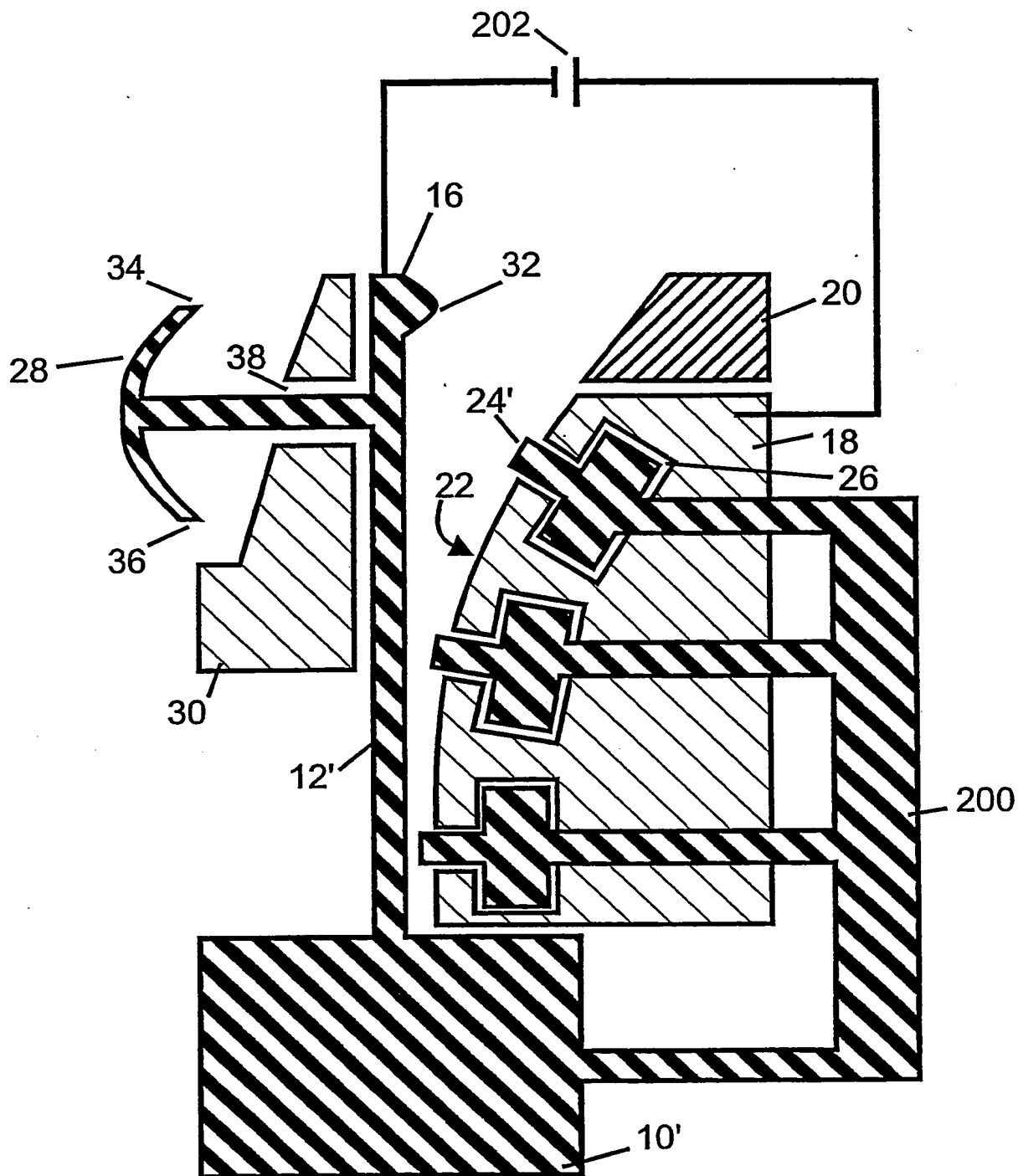


Fig.7